

EFEITOS DE FUNGOS LIGNOCELULÓSICOS SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS E DENSIDADE BÁSICA DE RESÍDUOS FLORESTAIS

Lauane Alves Oliveira¹, Rayana Cristina Sevilha¹, Jesiane Rocha Xavier¹, Olivia Pereira Lopes¹, Regina Maria Gomes¹, André Luiz Firmino¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, Minas Gerais
(jesianexavierflorestal@ufu.br).

RESUMO: A escassez de madeiras nativas no Brasil tem incentivado o uso de espécies exóticas como o *Eucalyptus* sp., que, por ser orgânico, é suscetível ao ataque de fungos. Este trabalho avaliou alterações na densidade básica e na composição química em resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp. após exposição a quatro isolados fúngicos do Cerrado. Foram analisados a densidade básica e os teores de extrativos, lignina (solúvel, insolúvel e total) e holocelulose, antes e após o ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório. Os resultados obtidos revelaram que os fungos testados provocaram redução na densidade básica e nos teores de lignina. Vale destacar os tratamentos T1 e T2, que apresentaram maior capacidade de degradação da lignina e, em contrapartida, houve aumento nos teores de holocelulose nesses mesmos tratamentos. O estudo destaca o potencial dos isolados fúngicos na degradação da madeira e sua importância para aplicações biotecnológicas.

Palavras-chave: degradação fúngica; apodrecimento acelerado; composição química da madeira.

1 INTRODUÇÃO

A exploração incessante da madeira no Brasil resultou na escassez de muitas espécies nativas, o que tem levado à busca por alternativas, incluindo o uso de madeira provenientes de reflorestamento com espécies exóticas. Entre as opções de espécies, destacam-se os gêneros *Eucalyptus* sp. e o *Pinus* sp., devido ao seu rápido crescimento e suas propriedades químicas (Paes; Moreschi; Lelles, 2005).

O gênero *Eucalyptus* sp. é amplamente cultivado no Brasil devido ao seu rápido crescimento, adaptabilidade a diferentes condições climáticas e múltiplas aplicações industriais. As espécies de *Eucalyptus* plantadas no país apresentam alta produtividade, alcançando média de 33,7m³.ha⁻¹.ano⁻¹, o que contribui para sua competitividade no mercado (IBÁ, 2024). A

madeira de eucalipto tem sido utilizada em diversos setores, como na produção de celulose, na construção civil, na movelaria e na geração de energia a partir de biomassa (Potencial Florestal, 2019). A madeira, embora venha sendo empregada em múltiplos usos, é um material de origem orgânica e, por isso, vulnerável ao ataque de fungos apodrecedores. Essa vulnerabilidade é especialmente acentuada quando a madeira está exposta a condições ambientais favoráveis, como alta umidade, temperaturas elevadas, variações de pH e presença de oxigênio. A intensidade da deterioração provocada por esses microrganismos pode variar conforme essas condições (Archer; Lebow, 2006).

Esse estudo possui aplicações biotecnológicas, como, pré-tratamento para bioenergia, que favorece o uso biotecnológico da madeira.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a densidade básica da madeira e os teores de extrativos, lignina e holocelulose em resíduos de *Eucalyptus* sp. antes e após o ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório empregando-se fungos bioprospectados do cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova utilizados foram da espécie de *Eucalyptus* sp obtido de um único caibro comercializado em serraria na cidade de Monte Carmelo/MG, com dimensões de 2,5x2,5x1,2 cm. A madeira de eucalipto empregada neste estudo foi caracterizada inicialmente quanto à sua densidade básica inicial e composição química. A densidade básica dos corpos de prova foi determinada de acordo com a Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR ABNT11941 (ABNT, 2003), que define a relação entre massa seca e volume saturado da madeira.

A preparação da madeira para a análise química foi realizada conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry -TAPPI T 257-cm-85 (TAPPI, 1985).

Para a determinação do teor de extrativos solúveis em acetona presentes na madeira foi empregada a norma ABNT NBR 14660 (ABNT, 2004) e a caracterização química da madeira antes e após o ataque do fungo foi realizada utilizando-se 05 repetições.

Os teores de lignina insolúvel e solúvel na madeira foram determinados pelos procedimentos conhecidos como “Método de Klason em miniamostra”, modificado por Gomide e Demuner (1986), e o método de Goldschimid (1971), respectivamente. A lignina total foi obtida por meio da soma dos teores de lignina solúvel (LS) e lignina insolúvel (LI), de acordo com a equação 1. Já o teor de holocelulose foi calculado pela média dos extrativos (Ext),

juntamente com a média da lignina solúvel (LS) e a média da lignina insolúvel (LI), conforme a equação 2.

$$\text{Lignina total (\%)} = LS + LI \quad (1)$$

$$\text{Holo celulose (\%)} = 100 - (\text{Ext} + LI + LS) \quad (2)$$

O ensaio de apodrecimento da madeira foi conduzido de acordo com a norma American Wood Protection Association - AWPA E-10-16 (AWPA, 2016). O experimento foi conduzido como um delineamento inteiramente casualizado, com 5 tratamentos, a saber: quatro tratamentos com isolados fúngicos obtidos do cerrado (T1, T2, T3 e T4) e um tratamento testemunha. Todos os ensaios foram realizados com 20 corpos de prova.

A densidade básica e caracterização química da madeira antes e após o ensaio laboratorial foram submetidos ao teste Tukey a 5% de significância para verificar diferenças entre as médias dos tratamentos, utilizando a planilha disponibilizada pelo Centro de Ciências Agrárias da UFSCar (CCA,2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados (Tabela 1), é possível observar que a densidade básica inicial da madeira era $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$, o maior valor registrado no estudo. Entre os tratamentos com isolados fúngicos vale a pena destacar o tratamento 2, que apresentou valor de densidade básica de $0,64 \text{ g.cm}^{-3}$, valor este superior ao obtido no tratamento testemunha, sem inoculação de fungo ($0,56 \text{ g.cm}^{-3}$). Os tratamentos 1 e 4 apresentaram os menores valores de densidade básica, respectivamente, $0,55$ e $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$. A densidade básica inicial encontrada no presente trabalho de $0,72 \text{ g.cm}^{-3}$ foi superior ao relatado por Andrade; Tomazello Filho e Moutinho (2018), que em estudo com eucalipto relataram densidade básica variando entre $0,567$ e $0,696 \text{ g.cm}^{-3}$.

Um aspecto interessante foi o alto valor observado na testemunha, o que sugere que parte desse aumento pode estar relacionado não apenas à ação fúngica, mas também às diferentes condições do ensaio em relação à madeira antes do ensaio (AE), como o tempo de incubação, umidade, ou processos de preparação das amostras, que podem ter favorecido a liberação ou concentração de certos compostos.

Tabela 1 – Médias dos parâmetros químicos da madeira antes (AE) e após o ensaio de apodrecimento acelerado para os diferentes tratamentos.

Tratamento	Densidade Básica (g.cm ³)	Teor Extrativos (%)	Teor Lignina Solúvel (%)	Teor Lignina Insolúvel (%)	Teor Lignina Total (%)	Teor Holocelulose (%)
AE	0,72 a	12,32 b	0,89 a	28,77 a	29,66 a	58,02
Testemunha	0,55 c	15,05 a	0,60 ab	20,14 b	20,74 b	64,21
T1	0,55 c	11,29 b	0,43 b	13,16 d	13,59 d	75,12
T2	0,64 b	15,64 a	0,44 b	13,46 d	13,90 d	70,47
T3	0,58 bc	15,61 a	0,45 b	15,22 c	15,67 c	68,72
T4	0,55 c	16,14 a	0,66 ab	14,80 c	15,46 c	68,4

Nota: Médias seguidas com letras iguais, nas colunas, não diferem significativamente entre si, pelo teste tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Sevilha, R.C.

Em relação à lignina solúvel, observou-se uma leve redução nos tratamentos T1, T2 e T3, em comparação à madeira antes do ensaio. Já os menores teores de lignina insolúvel e lignina total observados nos tratamentos T1 e T2 indicam que esses fungos foram mais eficientes na degradação da lignina estrutural, especialmente da fração insolúvel. Esse comportamento também foi relatado por Gomes, Silva e Oliveira (2019), que observaram redução acentuada da lignina em madeiras de pinus expostas a fungos com maior capacidade ligninolítica, especialmente quando a madeira apresentava menor densidade e teor de extrativos antioxidantes.

Os resultados obtidos de teores de holocelulose indicaram um aumento substancial nos tratamentos com fungos, especialmente nos tratamentos T1 (75,12%), T2 (70,47%) e T3 (68,72%) quando comparados à madeira antes do ensaio (58,02%). Como demonstrado por Martínez *et al.* (2005), esse fenômeno resulta da degradação seletiva de lignina por fungos ligninolíticos, que preservam parcialmente os carboidratos estruturais (celulose e hemiceluloses), concentrando-os na madeira residual. Corroborando esses achados, Pinto (2006) observou que fungos ligninolíticos, ao degradarem a lignina, acabam deixando a celulose mais acessível e estável, o que pode explicar o aumento observado nos teores de holocelulose (T1: 75,12%; T2: 70,47%) nos tratamentos com fungos.

O teor de holocelulose observado na Testemunha (64,12%) foi maior que o da madeira antes do ensaio (58,02). Essa diferença, no entanto, não indica aumento real na quantidade de polissacarídeos. Ela pode ser explicada pela forma como o valor da holocelulose é obtido de maneira indireta, considerando a proporção entre os outros componentes da madeira. Como a Testemunha apresentou menor teor de lignina total (20,74%) em comparação ao AE (29,66%)

e uma quantidade maior de extrativos (15,05% contra 12,32%), a soma dessas reduções e acréscimos afeta o cálculo, resultando em um valor aparentemente mais alto de holocelulose. É importante ressaltar que esse aumento pode refletir uma alteração proporcional causada pela diminuição da lignina e pelo acúmulo de extrativos. Esses extrativos adicionais podem incluir compostos que não foram completamente removidos ou que se concentraram ao longo do tempo de incubação no ensaio.

4 CONCLUSÕES

Os fungos isolados do Cerrado alteraram a densidade e a composição química da madeira de *Eucalyptus* sp., com destaque para os tratamentos T1 e T2, que reduziram os teores de lignina e aumentaram os de holocelulose. Isso confirma sua eficiência na degradação seletiva da madeira, evidenciando seu potencial para estudos em biodeterioração e uso biotecnológico.

AGRADECIMENTOS Os autores agradecem a FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado Minas Gerais) pelo apoio financeiro concedido em forma de bolsa.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 11941**: Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 14660**: Madeira – Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro, 2004.

ANDRADE, F. W. C.; TOMAZELLO F. M.; MOUTINHO, V. H. P. Influence of wood physical properties on charcoal from *Eucalyptus* spp. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, p. e20150176, 2018.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. In: Walker, J.C.F. (Ed.). **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 297-338.

AWPA - AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **Standard E10-16**. Laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure basidiomycete cultures: soil/block test. Book of Standards. American Wood Protection Association Birmingham, AL, 2016.

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS (CCA). **Teste de Tukey**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009. Disponível em: <https://www.cca.ufscar.br/ptbr/servicos/teste-de-tukey>. Acesso em: 08 ago. 2024.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K.V.; LUDWIG, C.H. (Eds.) **Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241- 26.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, ago. 1986.

IBÁ – Industria Brasileira de Árvores. Relatório anual 2024. 2024. Disponível em: <https://iba.org/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2025

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* lab. e de bracinga (*Mimosa scabrella* BENTH.) pelo método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, 2005.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI T 257 om-85: Sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: TAPPI, 1985. 5 p.

MARTÍNEZ, Ángel T. *et al.* "Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin" **International Microbiology**, v. 8, n. 3, p. 195- 204, 2005.

PINTO, F.F. **Degradação de madeiras por fungos: aspectos biotecnológicos e de biorremediação**. 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-9RPGD5>.

POTENCIAL FLORESTAL. Veja os principais usos do eucalipto na indústria. **Potencial Florestal**, 2019. Disponível em: <https://potencialflorestal.com.br/usos-eucalipto-na-industria/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

GOMES, J. P.; SILVA, M. F.; OLIVEIRA, R. M. Alterações na composição química de madeira de *Pinus* após exposição a fungos apodrecedores. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 3, p. 1–8, 2019.